



TUULILASIN LOPPUTARKASTUKSEN KEHITTÄMINEN PILKINGTONIN LAITILAN TEHTAALLA

Pekka Laihonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

LAIHONEN, PEKKA:

Tuulilasin lopputarkastuksen kehittäminen Pilkingtonin Laitilan tehtaalla

Opinnäytetyö 42 sivua
Toukokuu 2014

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Pilkingtonin Laitilan tehtaalla tuotettavien tuulilasien lopputarkastuksen hyötysuhdetta. Entisen tarkastuslaitteiston toiminnalla ei ole ollut teoriapohjaa, joten opinnäytetyössä tutkittiin, mihin tämän järjestelmän toiminta perustuu. Tutkimuksen tuloksia käytettiin uuden laitteiston kehityksessä.

Työ on jaettu kahteen osaan, valaistustekniikkaan ja laitteiston kehittämiseen. Aluksi perehdyttiin valoon ja näkemiseen: mitä valo on, mistä värit muodostuvat ja miten valo vaikuttaa ihmiseen. Seuraavaksi käytiin läpi erilaiset valonlähteet ja sisävalaistusstandardin määrittelemät vaatimukset valaistukselle.

Uutta laitteistoa kehitettäessä pyrittiin ottamaan huomioon valaistuksen aiheuttamat fysiologiset vaikutukset tarkastajaan. Näitä fysiologisia tekijöitä ovat valaistuksen voimakkuus, häikäisy, värilämpötila ja värintoisto.

Laitteiston kehittäminen ja sen tuomat hyödyt tehtaan toiminnalle ovat salassa pidettävää tietoa eikä niistä siksi kerrota työn julkisessa versiossa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Building Services Engineering

LAIHONEN, PEKKA:

Development of the Final Inspection of Windshields at Pilkington Laitila factory

Bachelor's thesis 42 pages

May 2014

The aim of this thesis was to develop the efficiency of the final inspection of windshields. The hardware used formerly did not have any theoretical base for its functionality, so this thesis examined the function of this hardware. The results were used in the development of the new hardware.

The thesis was divided into two parts, lighting technology and hardware development. At first, we focused on light and vision: what light is, how colors are formed and how light affects a human being. Next, we investigated different kind of light sources and how the requirements specified by indoor lighting standards affect lighting design.

When developing the new hardware, attention was paid to the physiological effects that the used lighting have on the inspector. These physiological effects include the intensity of illumination, glare, color temperature and color rendering.

Hardware development and the benefits of it for the plant's operations are confidential information and therefore not printed in the public version of this thesis.

Key words: light, color temperature, color reproduction, vision

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VALO, VALOSUUREET JA NÄKEMINEN	7
2.1	Valo.....	7
2.1.1	Valovirta.....	8
2.1.2	Valovoima	9
2.1.3	Valaistusvoimakkuus	9
2.1.4	Luminanssi	10
2.1.5	Häikäisy.....	11
2.1.6	Varjonmuodostus	12
2.1.7	Värit ja värintoisto.....	13
2.1.8	Värilämpötila.....	15
2.1.9	Heijastumissuhde	16
2.2	Valon vaikutus ihmiseen.....	16
2.2.1	Silmän toiminta	17
2.2.2	Värinäkeminen	20
2.2.3	Iän vaikutus näkemiseen	21
3	VALONLÄHTEET	23
3.1	Loistelamput	23
3.1.1	Liitäntälaitteet	25
3.2	Monimetallilamput.....	27
3.3	LED-valonlähteet.....	28
4	VALAISTUSSTANDARDIT	32
4.1.1	Valaistusvoimakkuus sisävalaistusstandardissa.....	32
4.1.2	Luminanssijakauma sisävalaistusstandardissa	34
4.1.3	Häikäisy sisävalaistusstandardissa	35
4.1.4	Värintoisto ja värilämpötila sisävalaistusstandardissa	36
5	TUULILASIN LOPPUTARKASTUKSEN KEHITTÄMINEN	37
6	YHTEENVETO	38
7	LÄHTEET	39

TERMISTÖ

Valovirta	Valovirran symboli on Φ ja yksikkö lumen (lm). Se ilmoittaa valonlähteen tuottaman kokonaisvalomäärän.
Valovoima	Valovoiman symboli on I ja yksikkö kandela (cd). Valovoima kuvaa valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta.
Valaistusvoimakkuus	Valaistusvoimakkuuden symboli on E ja yksikkö luks (lx). Valaistusvoimakkuus ilmoittaa tietylle pinnalle tulevan valovirran määrän eli lumenia neliömetriä kohden.
Luminanssi	Luminanssin symboli on L ja yksikkö kandela neliömetriä kohti. Luminanssi on valon voiman säteily tiettyyn suuntaan.
Värintoistoindeksi	Värintoistoindeksin tunnus on Ra ja yksikkö R_a -indeksi. Se ilmoittaa valonlähteen kykyä toistaa tiettyjä testivärejä tietyssä värilämpötilassa. Enimmäisarvo on 100 R_a .
Värilämpötila	Värilämpötilan symboli on T_C ja yksikkö kelvin (K). Lämmin värisävy on alle 3300 kelviniä ja kylmä on yli 5300 kelviniä. Väliin jäävän alueen värilämpötila on neutraali.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Pilkington Automotiven Laitilan tehtaalla tuulilasin lopputarkastuksessa käytettävää laitteistoa. Laitteiston toiminta perustuu valoon ja tällä hetkellä laitteiston valaistus koostuu hyvin monesta erilaisesta valaisimesta. Laitteistolla ei myös ole huoltosuunnitelmaa, vaan laitteistoa huolletaan vasta jonkin valaisimen tai lampun rikkoutuessa.

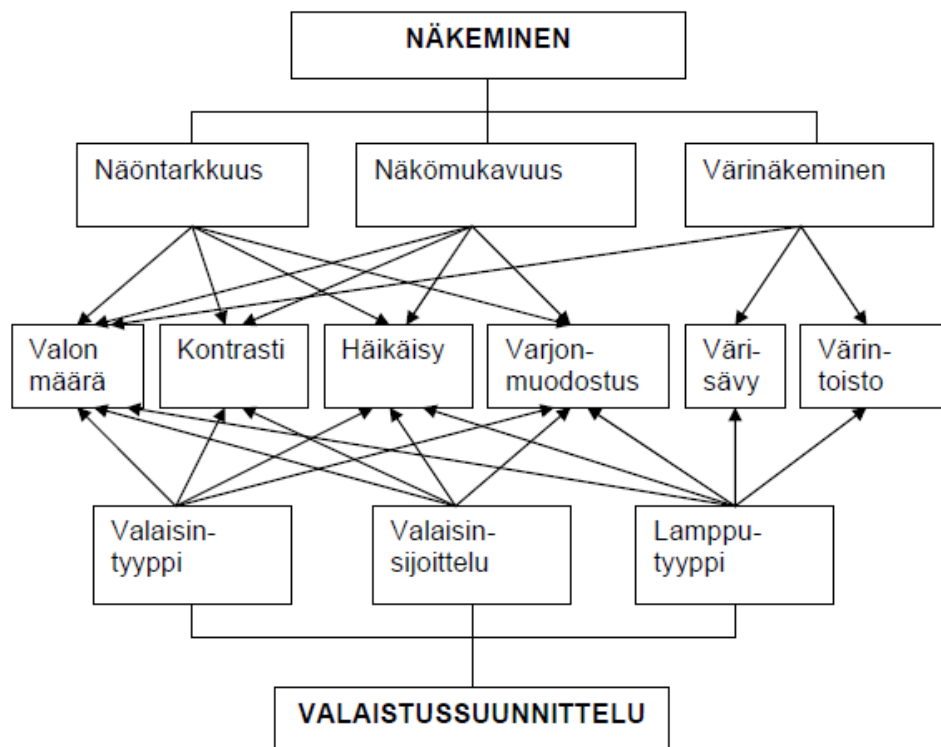
Suurin osa asiakkailta tulevista reklamaatioista koskee visuaalisia virheitä. Laitteiston kehittämisellä olisi mahdollista löytää vialliset tuotteet helpommin. Kehityksen kohteena laitteistossa ovat valaisinten tyypit ja käytettävät loisteputket. Huoltosuunnitelman tekeminen laitteistolle ja sen noudattaminen on ensiarvoisen tärkeää, jotta valaistuksen taso säilyy suunnitellulla tasolla.

Työssä käsitellään valaistuksen ja näkemisen perusteita, joita hyödynnetään laitteiston kehittämisessä. Valotaulun kehittämisessä on tarkoitus ottaa myös huomioon valaistuksen aiheuttamat fysiologiset vaikutukset tarkastajaan.

Teoriaosuus on tehty yhdessä Samu-Jukka Lahikaisen kanssa ja se on referoitu lähde-
luettelossa mainituista teoksista ja nettiosoitteista. Laitteiston kehittäminen ja sen tuomat hyödyt tehtaan toiminnalle ovat salassa pidettävää tietoa eikä niistä siksi kerrota työn julkisessa versiossa.

2 VALO, VALOSUUREET JA NÄKEMINEN

Kappaleessa käydään läpi hyvän valaistuksen perusteita ja suureita. Valaistuksessa on oleellista, että vaaditun valaistusvoimakkuuden lisäksi myös laadulliset ja määrälliset tarpeet tyydytetään (kuva 1). Näkömukavuus pitää olla tasolla, jolloin työntekijä kokee valaistuksen vaikuttavan positiivisesti hyvinvointiinsa. Tämä johtaa useimmiten myös parempaan tuottavuuteen ja työn laatuun. Työntekijä suoriutuu tehtävistään paremmin myös vaativissa olosuhteissa ja pitempien työjaksojen aikana. Parempi valaistus lisää myös työturvallisuutta. Suunnittelussa olisi hyvä huomioida henkilön yksilölliset ominaisuudet, joihin vaikuttaa ikä, näkökyky, silmälasit ja vireystila. (1; 2)



KUVA 1: Valaistussuunnittelun ja näkemisen tekijöitä (3)

2.1 Valo

Valo on aaltoliikettä. Sillä on kuitenkin myös hiukkasiin verrattavissa olevia ominaisuuksia, sillä törmätessään aineeseen valo käyttäytyy kuin se koostuisi massattomista hiukkasista. Näitä valon perusosia kutsutaan fotoneiksi. (4)

2.1.1 Valovirta

Valovirta ilmaisee valonlähteen tuottaman näkyvän valon säteilytehon, joka on painotettu suhteellisella silmäherkkyydellä. Valovirran symboli on Φ ja yksikkö lumen. Valovirta ilmaisee, kuinka paljon näkyvää valoa valolähteestä saadaan kokonaisuudessaan. (5)

Valovirta saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

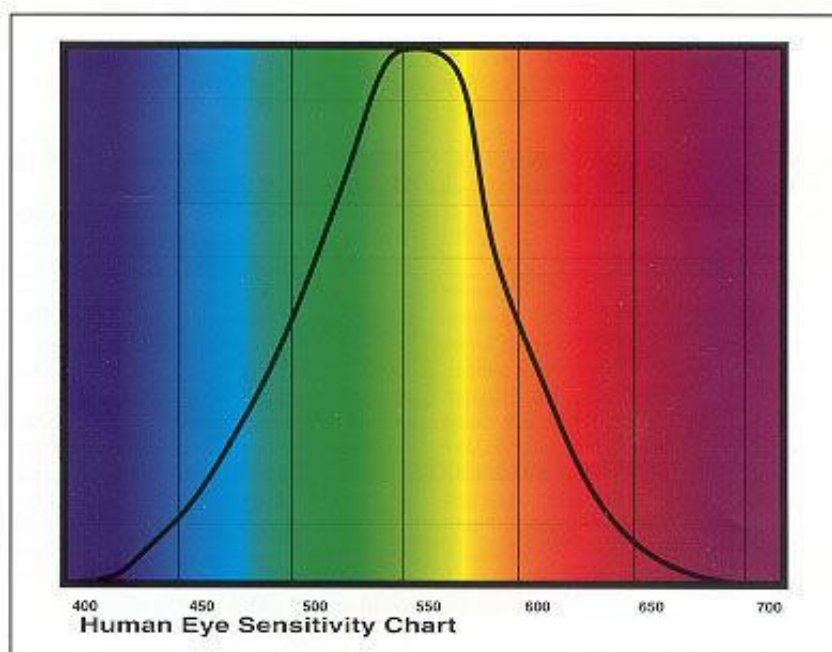
$$\Phi = \int_{380nm}^{780nm} K_m V(\lambda) \Phi_{e,\lambda} d\lambda \quad (1)$$

jossa

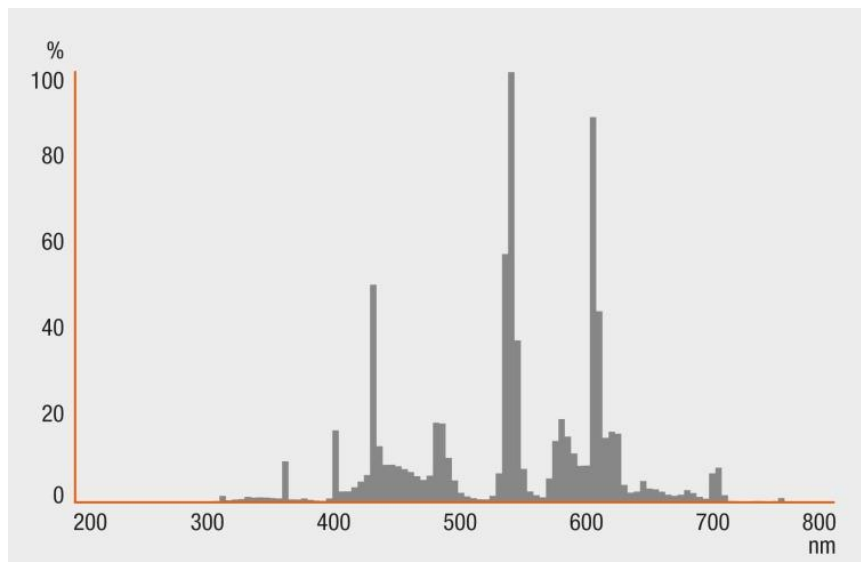
$$K_m = \text{Valotehokkuusvakio} = 683 \frac{lm}{W}$$

$$V(\lambda) = \text{Suhteellinen silmäherkkyysluku (kuva 2)}$$

$$\Phi_{e,\lambda} = \text{Säteilytehon spektritiheys (kuva 3)}$$



KUVA 2: Suhteellinen silmäherkkyys $V(\lambda)$ (6)



KUVA 3: Osram Colour 840 Lumilux Cool White -loisteputken spektrikäyrä ($\Phi_{e,\lambda}$) (7)

Valotehokkuus ilmaisee valonlähteen tuottamaa valon määrää suhteessa käytettyyn sähkötehoon (lumen/watti). Valolähteitä vertaillessa käyttökelpoisempi vertailukohde on järjestelmän valotehokkuus, jossa otetaan huomioon lampun sähkötehon lisäksi myös liitäntälaitteen teho. (5)

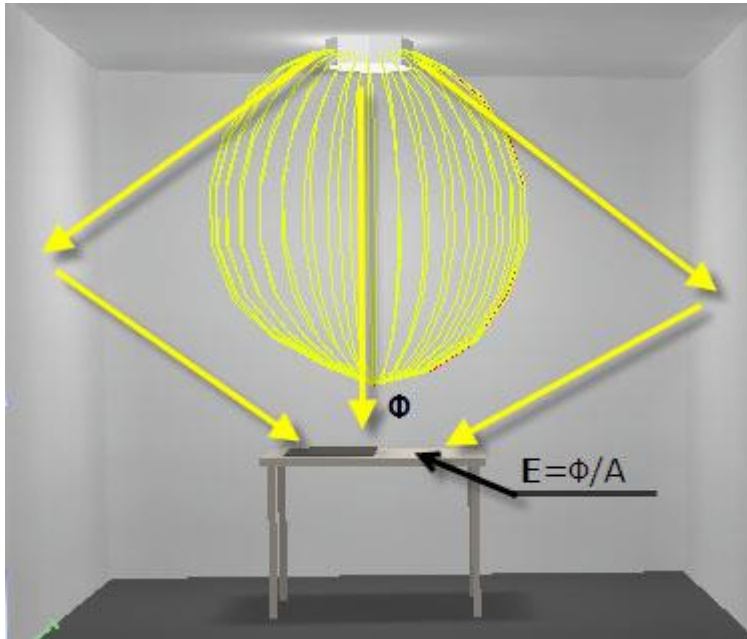
2.1.2 Valovoima

Valovoima ilmaisee valonlähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuuden. Sen symboli on I ja yksikkö on kandela (cd). Valovoiman avulla arvioidaan valaisimien ja lampujen valonjako-ominaisuuksia. Sitä ilmaistaan valonjakokäyrällä. Valolähteen valovoima voi olla erittäin suuri tiettyyn suuntaan, vaikka kokonaisvalovirta on pieni. Tästä esimerkkejä ovat valokuidun pää ja yksittäinen led. (8)

2.1.3 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus kertoo sen, kuinka suuri valovirran tiheys on tarkasteltavalla pinnalla. Sen symboli on E ja yksikkö on luksi (lx). Valaistusvoimakkuuteen vaikuttavat valonlähteestä suoraan tuleva sekä heijastuva valovirta pinta-alayksikköä kohti (kuva 4).

Valaistusvoimakkuus ja sen jakautuminen työalueelle vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti, turvallisesti ja miellyttävästi hahmottaa näkötehtävän ja suoriutuu siitä. (8)



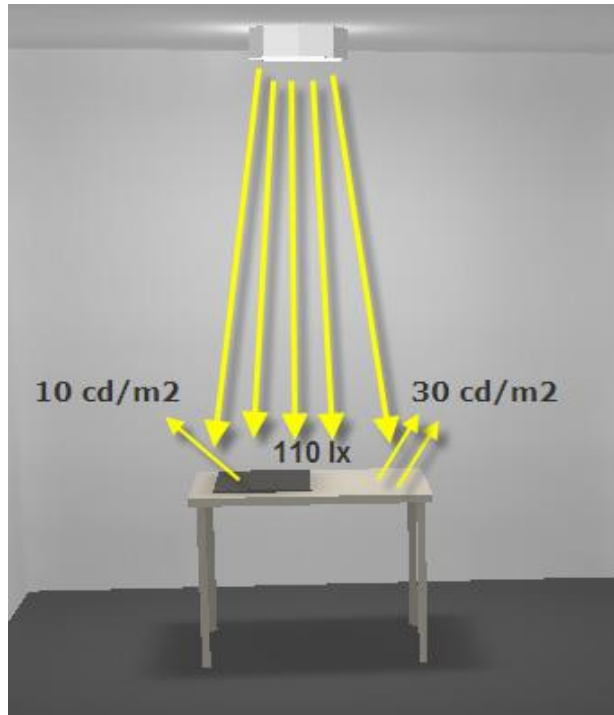
KUVA 4: Valaistusvoimakkuuden muodostuminen (8)

2.1.4 Luminanssi

Luminanssiksi kutsutaan sitä valoa, jonka katsottavan kohteen pinta heijastaa katsojan silmiin. Sen symboli on L ja yksikkö on kandela/m² (cd/m²). Luminanssista käytetään myös nimitystä pintakirkkaus. Se on ainoa nähtävissä oleva valaistussuure. (8)

Näkeminen perustuu luminanssi- ja värierojen eli kontrastien havaitsemiseen, joista luminanssiero on merkittävämpi. Näkeminen vaikeutuu, jos katselukohde on huomattavasti kirkkaampi kuin sen välitön ympäristö. Ympäristön ollessa katselukohdetta kirkkaampi, huomio ei keskity katselukohteeseen, vaan kirkkaaseen ympäristöön ja kappale näkyy vain silhuettina valoa vasten eli liian suuret luminanssierot haittaavat näkemistä (kuva 5). Silmät joutuvat tekemään enemmän töitä nähdäkseen ja ihminen väsy nopeammin. (2)

Tasapainoinen luminanssi parantaa tilan selkeyttä ja parantaa kontrastiherkkyyttä eli kykyä havainnoida pieniä luminanssieroja. Liian suuret luminanssit aiheuttavat häikäisyä ja liian suuret luminanssikontrastit aiheuttavat silmien väsymystä, sillä silmät yrittävät jatkuvasti sopeutua eri luminanssitasoihin. Liian pienet luminanssit ja liian alhaiset luminanssikontrastit tekevät ympäristöstä tylsän näköisen. (1)



KUVA 5: Tumman ja vaalean pinnan luminanssivertailua (8)

2.1.5 Häikäisy

Häikäisy eritellään yleensä vaikutustapansa mukaan kiusa- ja estohäikäisyyn. Estohäikäisy heikentää näkyvyyttä muodostamalla silmään ns. harsoluminanssin, kun taas kiusahäikäisy aiheuttaa epämiellyttävän tunteen, mutta ei heikennä näkemistä. Häikäisy voi tulla suoraan valonlähteestä tai heijastua jonkin pinnan kautta. Kiusahäikäisystä on SFS standardeissa ilmoitettu suositusrajat erilaisissa työtehtävissä ja -tiloissa. (3)

Rajaavalla tai hajottavalla häikäisysuojauksella voidaan rajoittaa häikäisyä. Rajaavassa suojauksessa valonlähteen näkyminen estetään ritilällä tai sopivalla heijastimen muotoilulla. Hajottavassa suojauksessa valonlähteen luminanssi jaetaan niin suurelle pinnalle, ettei se häikäise. (3)

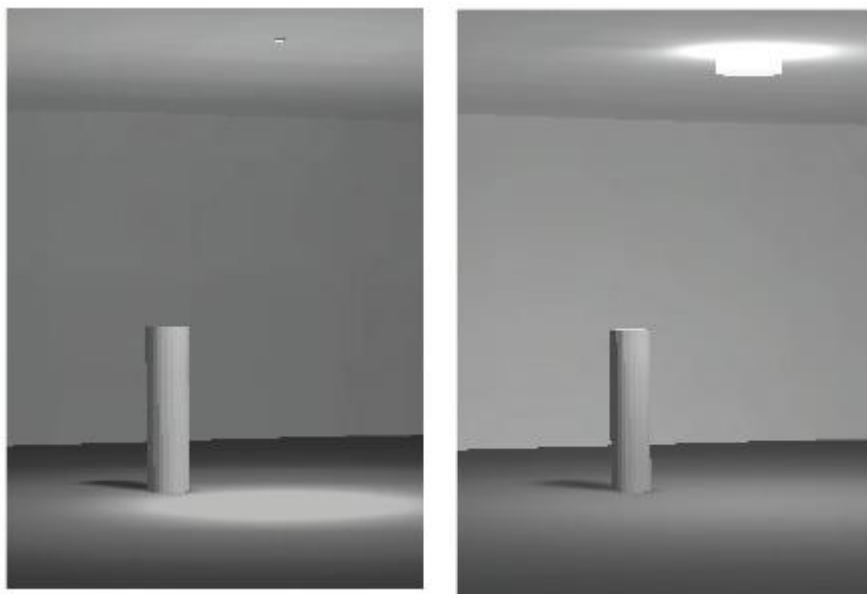
Häikäisy vähenee jos silmän sopeutumisluminanssia nostetaan. Tämä onnistuu heijastamalla valoa lampun ympäristöön, jolloin valonlähteen ja sen ympäristön luminanssi-contrastti ei ole niin suuri. (3)

2.1.6 Varjonmuodostus

Valon suunta, tilan pintojen heijastumissuhde ja valaisevan kappaleen koko vaikuttavat siihen, kuinka voimakas varjonmuodostus tilassa syntyy. Tällä on vaikutusta tilan miellyttävyyteen, mutta myös näkemiseen ja yksityiskohtien erotteluun. Valon suuntaa ja varjonmuodostusta voidaan myös hyödyntää muotojen korostuksessa tai pintojen tarkastelussa. (8)

Suoraan ylhäältä alaspäin suuntautuva valo aiheuttaa voimakkaat varjot esimerkiksi kasvoihin. Mikäli osa valosta tulee heijastuksina seinäpintojen kautta, saadaan pehmeämpiä varjoja ja usein myös miellyttävämpi tila. (8)

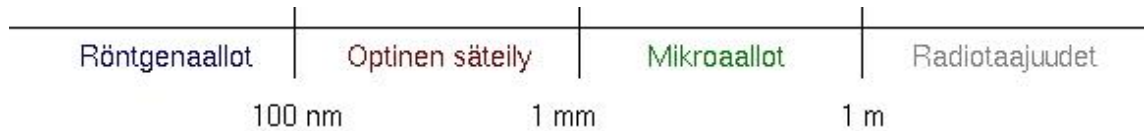
Täysin varjoton tila koetaan kuitenkin usein tylsänä ja varjojen puuttuminen saattaa jopa vaikeuttaa näkemistä. Pienen valonlähteen aiheuttama varjo on terävä. Suuri valaiseva pinta tekee varjonmuodostuksen pehmeämmäksi (Kuva 6). (8)



KUVA 6: Varjonmuodostus (8)

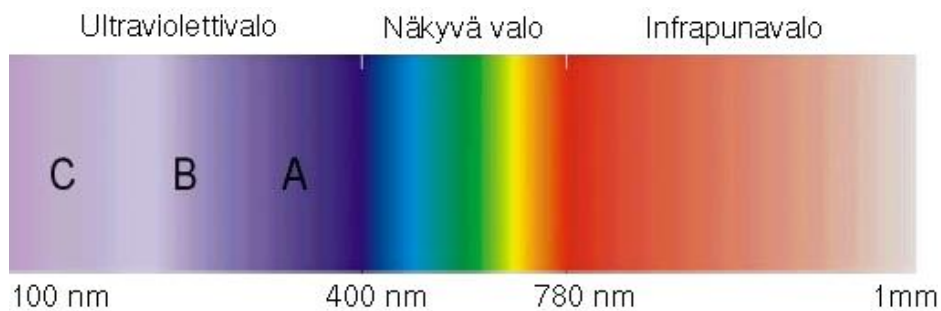
2.1.7 Värät ja värintoisto

Värät ovat valon eri aallonpituuksia, joita kutsutaan näkyvän valon aallonpituuksiksi. Näkyvän valon lisäksi sähkömagneettiseen säteilyyn (kuva 7) kuuluvat muun muassa röntgensäteily ja ultraviolettisäteily. (9)



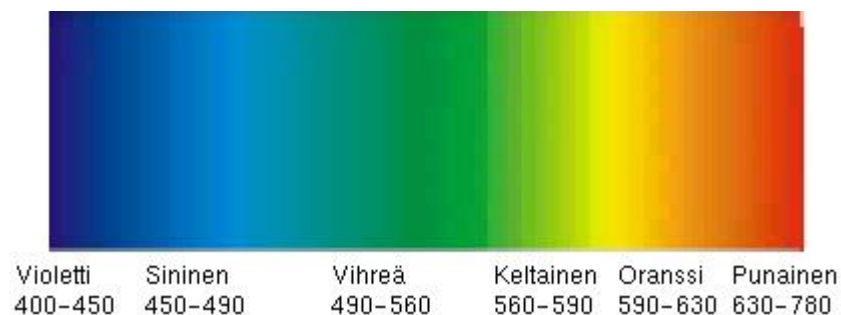
KUVA 7: Sähkömagneettisen säteilyn lajit. (10)

Optista säteilyä (kuva 8) ovat auringon ja tähtien lähettämä valo. Koska aurinko lähettää säteilyä kaikilla aallonpituuksilla, sen valossa on kaikkia värejä ja näemme sen valkeana, kuten myös hehkulampun valon. Avaruus imee kaikki säteilyn lajit eikä lähetä yhtään, siksi näemme sen mustana. (9)



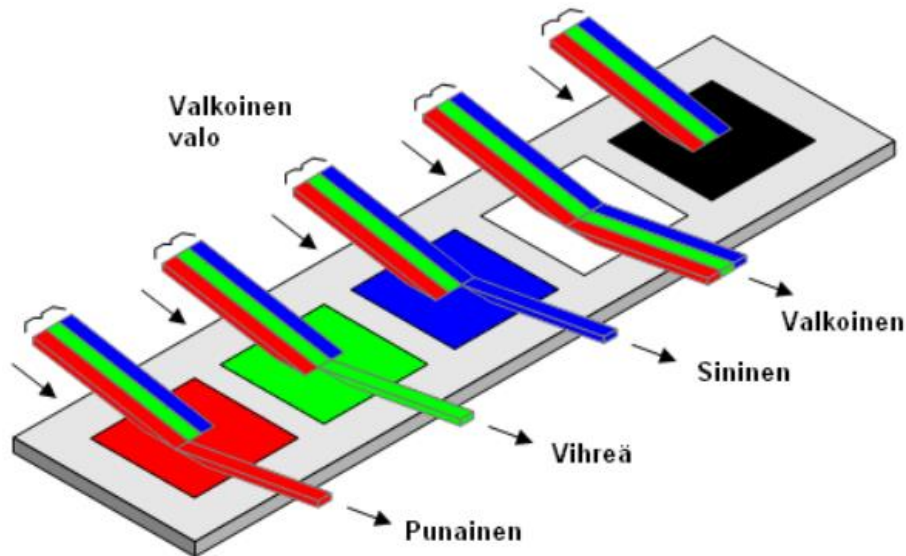
KUVA 8: Optinen säteily. (10)

Ihminen näkee sähkömagneettisen säteilyn välillä 400–780 nanometriä (kuva 9). Eri aallonpituudet nähdään eri väreinä. (10)



KUVA 9: Näkyvän valon spektri. (10)

Kun valo osuu esineeseen, se imee osan säteilystä ja heijastaa osan. Esineen pinnan ominaisuuksista riippuu, mitä aallonpituuksia se imee ja mitä se heijastaa (kuva 10). Tästä määräytyy myös esineen väri. Esimerkiksi punainen pallo imee kaikkia muita värejä paitsi punaista - ja näyttää siksi punaiselta. (9)



KUVA 10: Valkoisen valon heijastuminen erivärisiltä pinnoilta (11)

Auringonvalon sirottuminen ilmakehän vesihöyryyn saa taivaan näyttämään siniseltä. Auringonlaskun upeat värit taas johtuvat siitä, että valon tullessa eri kulmassa ilmakehään se sirotaan eri tavalla, jättäen jäljelle eri aallonpituudet. Tuotettavassa valossa tulisi taten olla kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia eli mahdollisimman tasainen ja laaja spektri, jotta esineiden värit toistuisivat hyvin. Värintoistoindeksiä käytetään, sillä spektrikäyrän muodon perusteella on hankala vertailla eri valonlähteiden värintoist ominaisuuksia. (9)

R_a -indeksi on eniten käytetty värintoistoindeksi. Se saadaan siten, että kahdeksan eri testiväriin poikkeamaa verrataan vertailuvalonlähteeseen nähden. Alle 5000 kelvinin lampuilla käytetään vertailuvalonlähteenä hehkusäteilijää ja suuremmilla värilämpötilan arvoilla standardoitua CIE:n (International Commission on Illumination) luonnonvaloa. R_a -indeksi voi antaa virheellisen kuvan lampun värintoistosta. Indeksiä määritettäessä väripoikkeamista lasketaan keskiarvo, joten keskimääräinen arvo voi olla hyvä vaikka yksi poikkeamista olisikin suuri. Siksi hyvän R_a -indeksin arvon saanut lamppu voi vääristää jotain väriä. (3)

2.1.8 Värilämpötila

Värilämpötila on valkoiseksi käsitetyn valon mitattava suure. Sen symboli on T_c ja yksikkö Kelvin (K). Valonlähteen värilämpötila on lämpötila kelvineinä, jossa Planckin säteilijän (täysin musta kappale) säteily on samankaltaista, kuin tarkasteltava säteily. Valonlähteen värivaikutelma ilmaistaan ekvivalenttisen värilämpötilan (T_{cp}) avulla (kuva 11). Ekvivalenttiseksi värilämpötilaksi kutsutaan värilämpötilaa, jossa valonlähteen säteily ei ole aivan Planckin säteilyä vastaavaa, mutta lähellä sitä. (12)

Värivaikutelma	Ekvivalenttinen värilämpötila T_{cp}
Lämmin	< 3000 K
Netraali	3300 5300 K
Kylmä	> 5300 K

KUVA 11: Valon värivaikutelma ja sitä vastaava värilämpötila (8)

Valaistavan kohteen värivaikutelman valintaan vaikuttaa psykologiset ja esteettiset tekijät sekä se, mitä pidetään luonnollisena. (8) Valinnassa tulee ottaa huomioon:

- valaistusvoimakkuustaso
- tilan ja kalustuksen värit
- ympäröivä ilmasto
- tilan käyttötarkoitus

Esimerkkejä valonlähteiden ekvivalenttisen värilämpötilan arvoista:

- hehkulamppu ~2700 K
- halogeenilamppu ~2900 K
- päivänvalo ~6500 K

2.1.9 Heijastumissuhde

Kappaleen pinnalle tuleva valovirta heijastuu osittain pinnasta takaisin tilaan ja osa säteilystä absorboituu pintaan ja muuttuu lämmöksi. Osa valosta voi myös kulkeutua pinnan läpi. Pintojen heijastumissuhde ilmoittaa prosentteina, kuinka suuri osa pinnalle kohdistuvasta valovirrasta heijastuu pinnalta takaisin. Se kuvaa pinnan vaaleutta ja siihen vaikuttaa valon tulosuunta, valon spektrikoostumus ja pinnan väri. Heijastumissuhdeella on vaikutusta valaistuksen laatuun ja tilan valaistushyötysuhteeseen. Heijastuminen on jaettu kolmeen eri tyyppiin (Kuva 12). (8)



KUVA 12: Suuntaheijastuminen, hajaheijastuminen ja sekaheijastuminen. (8)

Heijastavat pinnat voivat myös aiheuttaa häikäisyä. Hyvin tummassa tilassa muodostuu suuria luminanssieroja tilan pintojen ja valaisimien valaisevien pintojen välillä ja tämä osaltaan lisää kiusahäikäisyä. (8)

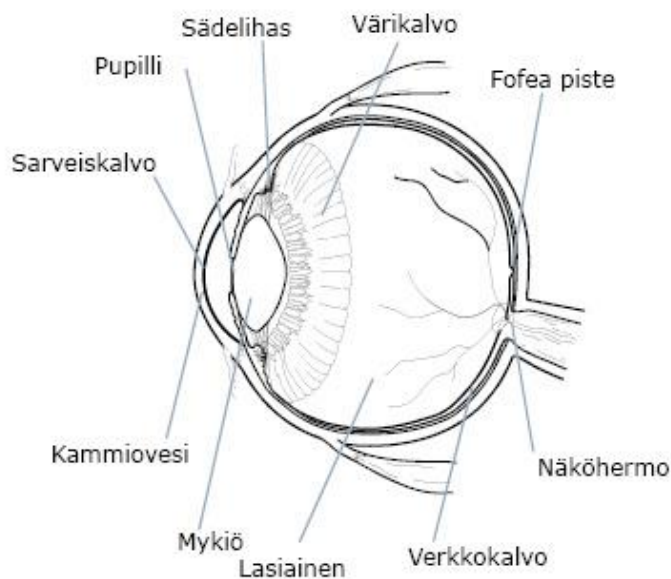
2.2 Valon vaikutus ihmiseen

Valo eli valon säteily vaikuttaa aivojen näkökeskuksen lisäksi koko kehon vireystilaan, hyvinvointiin, terveyteen, biologisiin rytmeihin, hormonitoimintaan, kognitiiviseen suorituskyykyyn, vireystilaan, kehon lämpötilaan, verenpaineeseen ja suorituskyykyyn. Auringon ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta ihossa syntyy kesällä runsaasti D₃-vitamiinia, joka on ihmiselle tärkein D-vitamiini. Se ehkäisee luiden haurastumista eli osteoporosia. D-vitamiinin puutos on yhdistetty myös lukuisiin sairauksiin, kuten infektioihin, diabetekseen, syöpään, verenkiertotauteihin ja hermoston rappeumatauteihin. (13)

Vuonna 2002 yhdysvaltalaiset David Berson Brownin yliopistosta ja George Brainard Philadelphian yliopistosta osoittivat, että valo vaikuttaa jo ennestään tunnettujen sauva- ja tappisolujen lisäksi kolmanteen löydettyyn aistinsoluun, jota kutsutaan fotoaktiiviseksi gangliosoluksi. Tämä aistinsolu vaikuttaa eri hormoneihin aivoissa, joissa sijaitseva käpylisäke on merkittävässä osassa hämärässä ja pimeässä tuotettavan unihormonin, melatoniinin, erittymiselle. Kirkkaassa valossa taas lisämunuaisen kuorikerros alkaa erittää stressihormoni kortisolia, joka lisää verensokeria antaen keholle energiaa ja kohentaa immuniteettia. (14)

2.2.1 Silmän toiminta

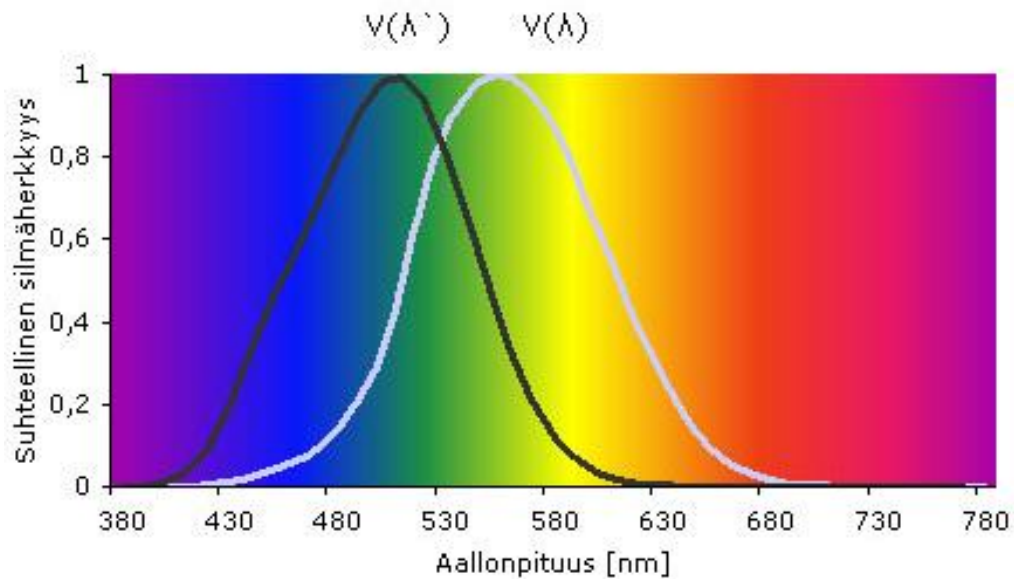
Näkeminen perustuu pinnoista heijastuneeseen valoon, mikä välittyy silmään ja kulkee silmän takaosassa olevalle verkkokalvolle. Säteily muuttuu hermoärsykeiksi, jotka välittävät tiedon aivoille näköhermoa pitkin (kuva 13). (8)



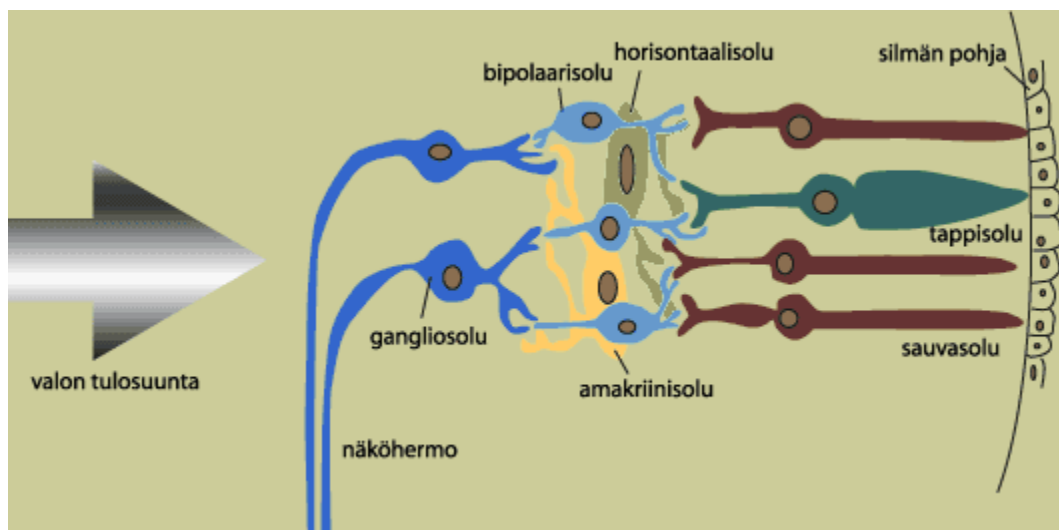
KUVA 13: Silmän rakenne (8)

Verkkokalvolla on kuusi erilaista solua, joista kolme on fotoaktiivista (kuva 15). Tappisolut toimivat vain voimakkaassa valaistuksessa ja niiden toiminta on herkintä 555 nm aallonpituudella. Tappisolujen avulla nähdään värit ja ne ovat keskittyneet verkkokalvossa olevan syvennyksen (fovea) ympärille, jossa sijaitsee myös tarkan näkemisen piste. (8)

Sauvasoluja on verkkokalvolla huomattavasti enemmän kuin tappisoluja ja ne sijaitsevat laajemmalla alueella. Niiden avulla voidaan aistia valoisuutta, mutta ei värejä. Sauvasolut toimivat siten myös hämärässä. Tämän vuoksi värejä ei nähdä hämärässä, eikä näkökentän reunoilla. Koska tarkan näkemisen pisteessä ei ole sauvasoluja, ei hämärässä myöskään nähdä tarkasti. Kuvassa 14 käyrä $V(\lambda)$ kuvaa silmän spektriherkyyttä päivänvalossa tappisolujen alueella ja käyrä $V(\lambda')$ hämärässä sauvasolujen alueella. Hämärässä silmä aistii paremmin lyhyitä aallonpituuksia. (8)



KUVA 14: Ihmissilmän suhteellinen herkkyyskäyrä (8)



KUVA 15: Verkkokalvon solut ja niiden rakenne (15)

Silmän värikalvo eli iiris toimii himmentimenä, joka muuntelee silmään tulevan valon määrää. Säätely tapahtuu automaattisesti kun autonominen hermosto aktivoi värikalvon laajentaja- ja kurojalihaksia, jotka suurentavat ja pienentävät mustuaisen eli pupillin kokoa tarpeen mukaan. Hämärästä kirkkaaseen mentäessä sopeutuminen tapahtuu hyvin nopeasti, mutta hämärään sopeutuminen voi kestää jopa useita kymmeniä minuutteja. (16)

Suuret ja nopeat luminanssivaihtelut näkökentässä rasittavat silmää sekä saattavat estää näkemistä. Tämän vuoksi yleensä tiloissa tulee olla yleisvalaistus. Keskeinen työ- tai tarkastelukohde tulee lisäksi olla valaistu paremmin kuin muu ympäristö. (8)

Silmä pystyy sopeutumaan (adaptaatio) eri luminanssitasoihin. Luminanssin tasolla, johon silmä on sopeutunut, ja sen tasaisuudella on vaikutusta näkö tarkkuuteen. Tämän vuoksi näkökohteen hyvän valaisemisen lisäksi on tärkeää, että myös ympäristö on riittävän hyvin valaistu. (8)

Näöntarkkuudella ilmaistaan miten hyvin erotetaan yksityiskohdat. Siihen vaikuttaa valon määrä sekä havaintoon käytettävä aika. Iän myötä silmän näköhermoja tuhoutuu, eikä silmä pysty enää samalla tavalla näkemään yksityiskohtia kuin nuorena. Valon määrää lisäämällä voidaan kuitenkin yleensä näkötehokkuutta parantaa. (8)

Silmän rengasmaisen sädelihas tarkentaa katseen eri etäisyyksille muuttamalla linssin eli mykiön kuperuutta. Sädelihas kiinnittyy ripustinsäikeiden välityksellä linssiin. Kun sädelihas supistuu, ripustinsäikeet pääsevät löystymään ja mykiö pyöristyy. Tällä tavalla katseen voi kohdistaa lähellä olevaan kohteeseen. Kauas katsottaessa silmien sädelihakset ovat veltostuneina ja kiristyneet ripustinsäikeet venyttävät mykiöitä litteämmiksi. Etäälle katsottaessa sädelihakset voivat siis levätä. (16)

Silmä pystyy tarkentamaan ”kuvan” nopeasti eri etäisyyksille (mukautuminen eli akkomondaatio). Pään ja silmien liikkeellä vaikutetaan siihen, mitä kohdetta tarkastellaan tarkasti. Kaksi silmää mahdollistaa ihmisen syvyysnäkemisen. (8)

2.2.2 Värinäkeminen

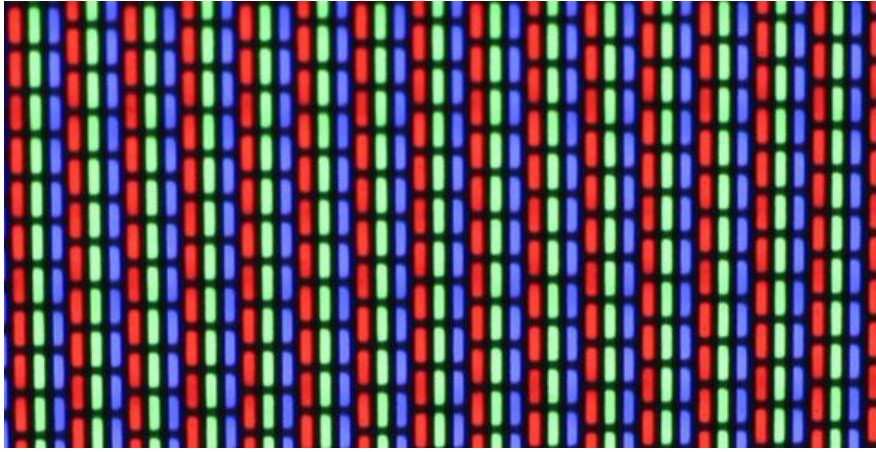
Pintojen eri värit ovat pinnasta heijastuneita säteilyn eri aallonpituuksia. Silmässä olevat tappisolut aistivat silmään heijastuneita eri aallonpituuksia. Osa tappisoluista on herkkiä punaisen valon aallonpituuksille, osa on herkkiä vihreän valon aallonpituuksille ja osa sinisen valon aallonpituuksille. Väriaistimus syntyy punaista, vihreää ja sinistä aistivien solujen yhteisvaikutuksesta. (8)

Fovean (tarkan näkemisen piste) läheisyydessä on paljon soluja, jotka aistivat erityisesti punaista ja vihreää. Laajimmin verkkokalvolla on tappisoluja, jotka aistivat sinistä. (8)

Silmä voi aistia siis vain niitä värejä, joiden mukainen aallonpituus heijastuu silmään. Valon spektri koostumus vaikuttaa siihen, miten hyvin valaistussa tilassa eri värit toistuvat. Mikäli jokin aallonpituus puuttuu valosta, ei tämä voi myöskään heijastua valaistavasta pinnasta. Tällöin ei myöskään pinnan väriä voida aistia luonnollisena. (8)

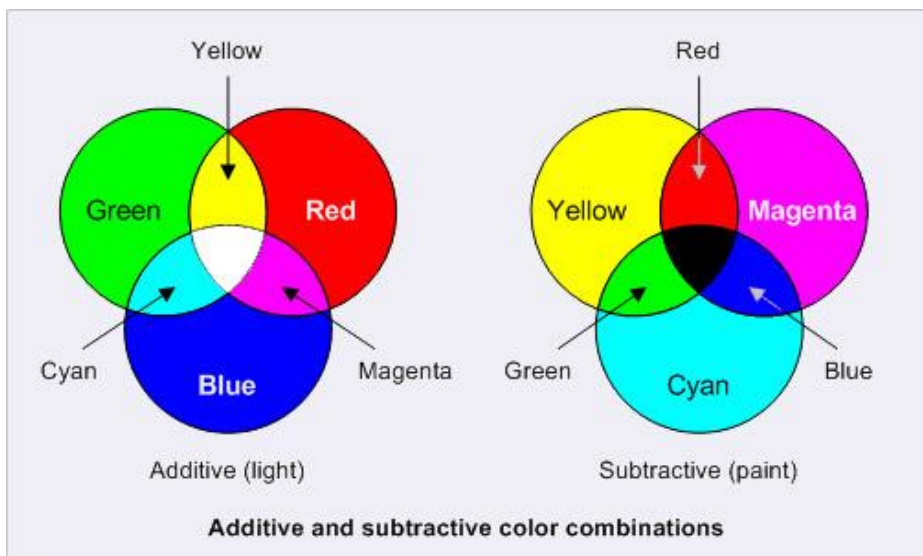
Näkö voi värisopeutua silloin, kun silmään tuleva summavalon poikkeaa paljon valkoisesta valosta. Esimerkiksi tilassa, jossa on paljon oransseja pintoja, saattavat valkoiset pinnat näyttääkin siniseltä. (8)

Näkökykymme ei ole äärimmäisen tarkka, vaan pienten yksityiskohtien erottaminen on rajallista. Television ruudulla käytetään RGB-värijärjestelmää (R = punainen, G = vihreä ja B = sininen), jota kutsutaan myös additiiviseksi, koska siinä eri värejä tuotetaan yhdistämällä päävärejä toisiinsa (kuva 16). Kaikkia värejä yhdistettäessä syntyy valkoista valoa. Väripisteiden ei tarvitse olla päällekkäin, sillä jos ne ovat tarpeeksi pieniä ja lähekkäin, ihmissilmä aistii ne yhtenä pisteenä. (17)



KUVA 16: Suurennos television kuvaruudusta (18)

Painovärien CMYK-järjestelmää ($C = \text{syaani}$, $M = \text{magenta}$, $Y = \text{keltainen}$ ja $K = \text{avainväri eli musta}$) kutsutaan subtraktiiviseksi, eli vähentäväksi järjestelmäksi (kuva 17). Siinä väri muodostuu värien imiessä valosta pois joitakin värejä, jolloin värit vähenvät. Kaikki värit yhdessä tuottavat mustaa. (17)



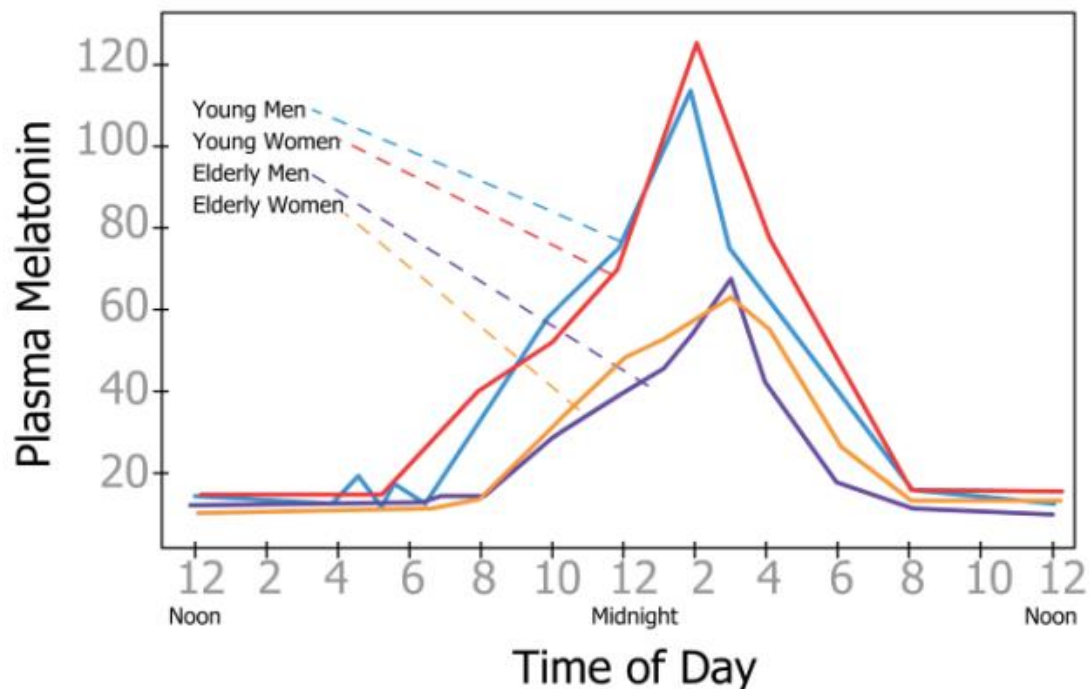
KUVA 17: RGB- ja CMYK-järjestelmät (19)

2.2.3 Iän vaikutus näkemiseen

Työntekijöiden yleinen ikäjakauma on noin 20–62 vuotta. Vanhemmilla ihmisillä näkökentän lähipiste siirtyy kauemmaksi silmästä ja sitä voidaan korjata lisäämällä silmän taittovoimaa lähilaseilla. Iän myötä silmän mukautumistapahtuma myös hidastuu, jolloin tarkentaminen eri etäisyyksille vie enemmän aikaa. (20)

Ikääntymisen myötä silmän optisen alueen läpi pääsevän valon määrä vähenee. Syy tähän on pupillin koon pieneneminen sekä mykiön samentuminen. Mykiö myös jäykistyy ja sitä ympäröivän kapselipussin joustavuus vähenee. Pupillin koon pienentyessä, yhä suurempi osa valosta joutuu läpäisemään mykiön sen paksuimman ydinosan kautta, joka absorboi enemmän valoa kuin mykiön reunaosat. (20) Näkö tarkkuus on 60-vuotiailla keskimäärin puolet 20-vuotiaan näkö tarkkuudesta. 60-vuotias tarvitsee 12-kertaisen valaistusvoimakkuuden saadakseen saman näkövaikutelman kuin 20-vuotias. (2)

Ikääntyminen vaikuttaa myös silmän sopeutumiskykyyn sekä melatoniinihormonin tuotantoon (kuva 18). Hämärään sopeutuminen saattaa hidastua ja heikentyä huomattavasti. Myös näkökentän luminanssivaihtelujen sietokyky saattaa heikentyä. (20)



KUVA 18: Melatoniinin tuotanto heikkenee vanhetessa (21)

Valaistusta suunniteltaessa valaistuskriteerit pitäisi asettaa siten, että heikkonäköisimmätkin työntekijät pystyisivät suoriutumaan tehtävistään yhtä hyvin kuin nuoremmat. Valaistustason ollessa parempi, työntekijät suoriutuvat tehtävistään nopeammin ja varmemmin. Lisäksi työhyvinvointi on paremmalla tasolla.

3 VALONLÄHTEET

Valonlähteitä on olemassa huomattava määrä erilaisia, kuten loistelamppuja, pienloistelamppuja (energiansäästölamppu), halogeenilamppuja, monimetallilamppuja, suurpainenatriumlamppuja, pienpainenatriumlamppuja, elohopealamppuja, ledejä, induktiolamppuja ja rikkiplasmalamppuja. Seuraavassa käydään läpi projektin kannalta oleelliset valonlähteet valon laadullisiin ominaisuuksiin keskittyen.

3.1 Loistelamput

Loisteputkissa valo tuotetaan pisaralla elohopeaa, joka kaasuuntuu sähköpurkauksen vaikutuksesta ja synnyttää UV-säteilyä, kun sähkö purkautuu sen läpi. Loisteputki sisältää myös jalokaasua, joka on tavallisesti argonia, kryptonaa, neonaa tai näiden sekoitusta. Tämän jalokaasun tarkoitus on helpottaa loisteputken sytyttämistä, sekä pitää sähköpurkaukset kurissa. (22)

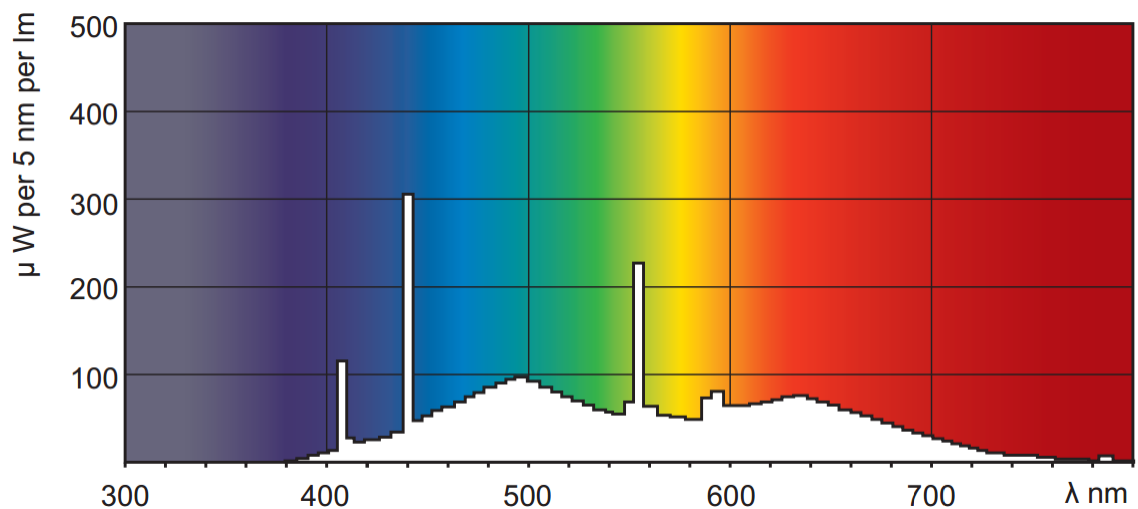
Loisteputken toimintalämpötilassa elohopeahöyryn paine on vain 1,3 pascalia. Tässä paineessa elohopeahöyryn emittoimasta säteilystä suurin osa tapahtuu ihmissilmälle näkymättömänä 253,7 nanometrin ultraviolettisäteilynä. Loisteputken sisäpinta on päällystetty fluoresoivalla materiaalilla, joka muuttaa elohopeahöyryssä olevan sähköpurkauksen synnyttämän ultraviolettisäteilyn näkyväksi valoksi. Loisteputken sisäpinnassa olevan loisteaineen koostumus määrää valon sävyn (värilämpötila) ja spektrin tasaisuuden (R_a -indeksi) (kuva 20). (22)

Loisteputkien värilämpötila on noin 3000–6500 kelviniä ja värintoistoindeksi on nykyään myytävissä loisteputkissa yleensä 80–95 välillä.

Loistelamput tarvitsevat liitäntälaitteen toimiakseen, mutta esimerkiksi E27-kierrekantaisissa lamput liitäntälaite on integroitu lamppuun. Yleisimmät kaksikan-
taiset loisteputket ovat T8- ja T5-malleja (kuva 19). Yleisempi T8-putki on halkaisijal-
taan 26 millimetriä ja T5-putki 16 millimetriä. T5-putken elinikä on vähintään 50 pro-
senttia pidempi, kuin vastaavan konventionaalisella liitäntälaitteella käytettävän T8-
putken. (23)



KUVA 19: T5- ja T8-loisteputket (24)



KUVA 20: Philips Graphica [58W/965, 97 R_a] loisteputken säteilyspektri (25)

3.1.1 Liitäntälaitteet

Loisteputket liitetään sähköverkkoon konventionaalisilla tai elektronisilla liitäntälaitteilla. T8-putken kanssa on mahdollista käyttää molempia liitäntälaitteita, mutta nykyaikaisemmalla T5-putkella käytetään aina elektronista liitäntälaitetta. Konventionaalinen liitäntälaitte (kuva 21) koostuu rautasydämisestä kuristimesta ja hohto- tai elektronisesta sytyttimestä sekä mahdollisesti kompensointikondensaattorista.



KUVA 21: Konventionaalinen liitäntälaitte (26)

Hohtosytytin (kuva 22) sytyttää lampun muutamassa sekunnissa, jonka aikana lamppu välkkyi. Sytyttimiä joudutaan ajoittain myös uusimaan. Viallinen sytytin voi jäädä oikosulkuun, jolloin piirissä kulkee jatkuva esihenkutusvirta. Tällöin loistelamppu ei syty täysin, vaan jää hehkumaan päistään. (27)



KUVA 22: Hohtosytytin (28)

Elektroninen sytytin (kuva 23) antaa joko vakiohehkuvirtaa tai pienenevää hehkuvirtaa. Mikäli lamppu ei syty, pienenevä hehkuvirta lähestyy nollaa. Sytytin ei tee uutta sytytysyritystä, jos lamppu on viallinen. Lampun ollessa ehjä, se syttyy välkkymättä. (27)



KUVA 23: Elektroninen sytytin (29)

Valaisimessa, jossa on elektroninen liitäntälaitte (kuva 24), ei ole tarvetta kuristimelle, sytyttimelle tai kondensaattorille. Liitäntälaitteen osat mitoitetaan usein niin, että lampun valovirta pysyy samana kuin konventionaalista kuristinta käytettäessä, jolloin lampun ottamaa tehoa voidaan pienentää. (30) Elektronisen liitäntälaitteen etuna on myös sen noin 40 kilohertsin taajuus verrattuna konventionaalisen liitäntälaitteen 50 hertsin taajuuteen. Elektronisilla liitäntälaitteilla voidaan näin poistaa myös työskentelyä heikentävää hättävälkyntää, jota ihminen ei kykene erottamaan, mutta aivot rekisteröivät sen henkilön sitä itse tiedostamatta. (31)



KUVA 24: Elektroninen liitäntälaitte (32)

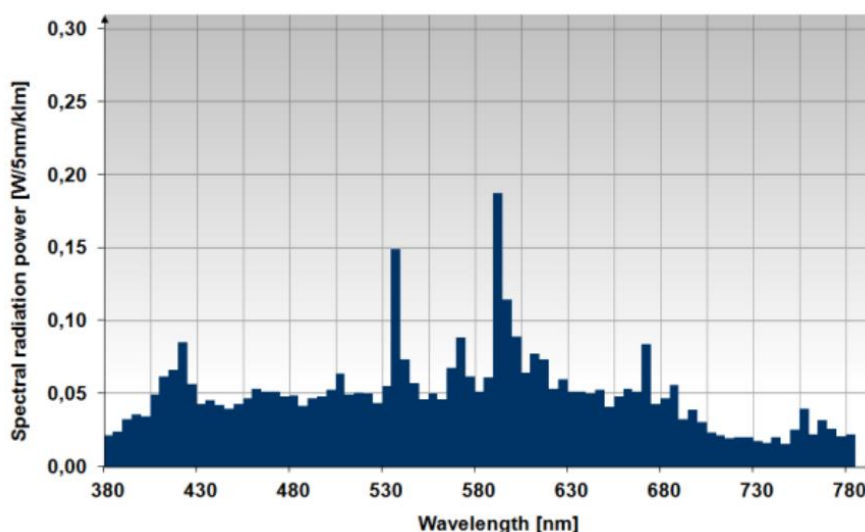
Elektronisella liitäntälaitteella varustettu valaisin vie vähintään 20 prosenttia vähemmän sähköä ja loistelampun elinikä pidentyy keskimäärin 15 prosenttia verrattuna konventionaalisella liitäntälaitteella varustettuun valaisimeen. Lämminsytytyksen avulla lampun käyttöikä voi pidentyä jopa 50 prosenttia. Lamppujen vaihtovälin pidentyessä ongelmajätteen määrä pienenee. (30)

3.2 Monimetallilamput

Monimetallilamppu (kuva 25) on korkeapaineiseen kaasupurkaukseen perustuva purkauslamppu, joka on samankaltainen kuin elohopeahöyrylamppu, mutta sen tuottama valo on puhtaamman valkeaa ja värintoistokyky (kuva 26) on parempi. Monimetallilamppujen purkausputkissa käytetään elohopean lisäksi eri metallien halideja. Halidi on halogeenin yhdiste, jossa halogeeni on elektronegatiivisempänä osapuolena. Lamppujen valotekniset ominaisuudet riippuvat eri metallien ominaisuuksista. Monimetallilamppujen värieläpötila on 3000 – 6000 kelviniä ja R_a -indeksi on 65–90. Niiden käyttöalue on erittäin laaja. Monimetallilamput toimivat suuressa paineessa ja siten niissä on räjähdysvaara. (33)



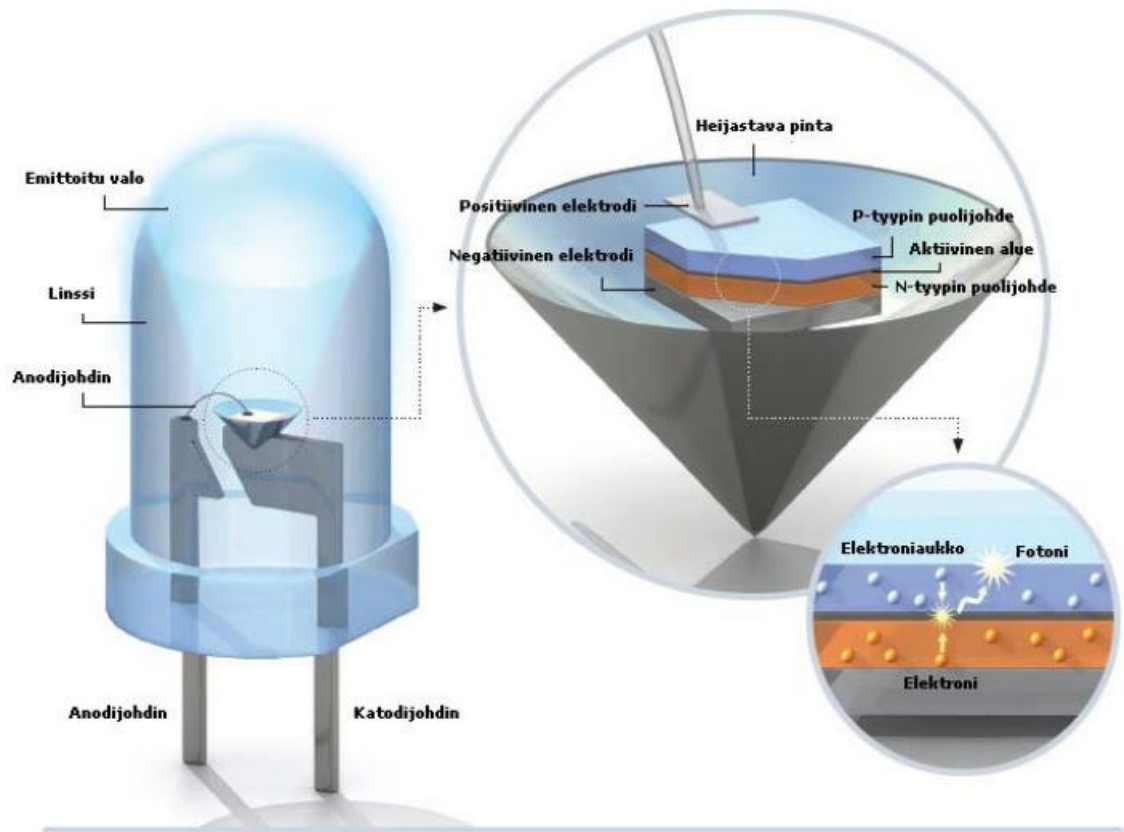
KUVA 25: Monimetallilamppu, Powerstar HQI-TS 250 W/NDL UVS (34)



KUVA 26: Powerstar HQI-TS 250 W/NDL UVS monimetallilampun säteilyspektri (34)

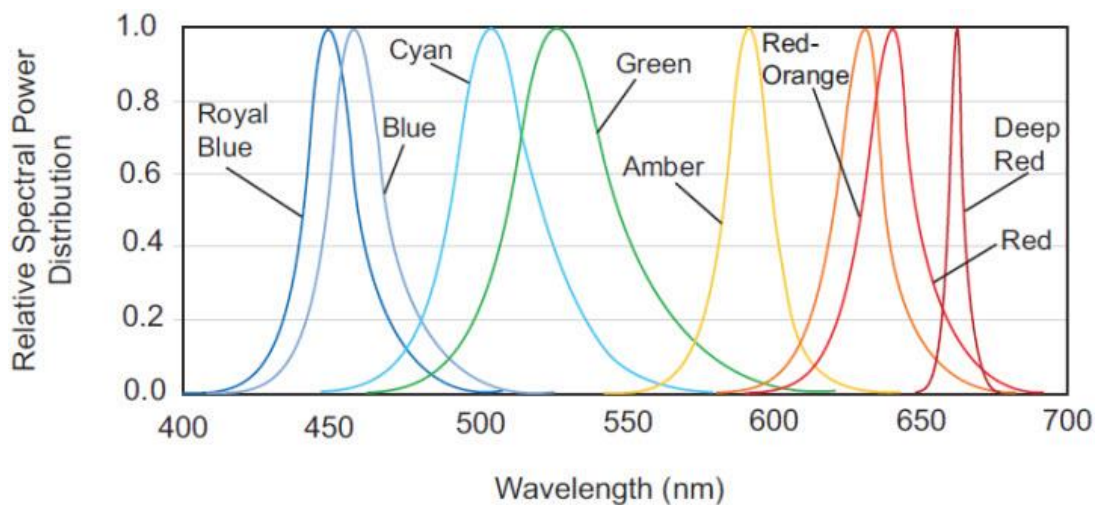
3.3 LED-valonlähteet

LED tulee englanninkielisestä nimestä Light Emitting Diode. Se on puolijohdekomponentti, joka muuntaa sähköenergian valoksi. Tätä prosessia kutsutaan elektroluminesenssiksi. LED toimii tasavirralla ja vaatii useimmiten erillisen liitäntälaitteen. (35) Yksittäinen LED on erittäin pieni, sillä sen valoa tuottava pinta voi olla kooltaan vain 1–2 mm² (kuva 27). Yhdellä LEDillä saadaan harvoin tuotettua riittävästi valoa, joten ne asennetaan ryhmänä LED-moduuliin. (36)

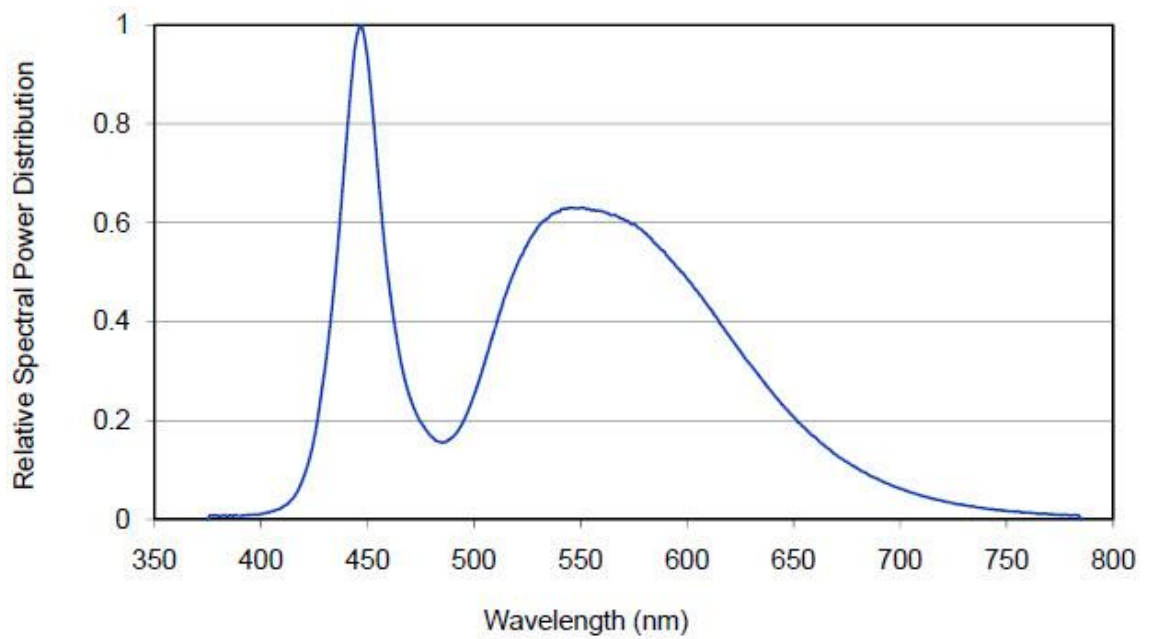


KUVA 27: LED-komponentin rakenne (37)

Valon väri eli spektri (kuva 28) riippuu loistediodin valmistusmateriaalista. LEDien perusvärit ovat punainen, meripihkan-oranssi (amber), vihreä ja sininen. Valkoista valoa (kuva 29) tuottava LED tehdään yleensä lisäämällä siniseen diodiin kerros fosforipohjaista loisteainetta, joka muuttaa valon valkoiseksi. Valon laatuun vaikuttavat sekä diodi että fosforin ominaisuudet. (35)



KUVA 28: Värillisten LED-valojen säteilyspektri (38)

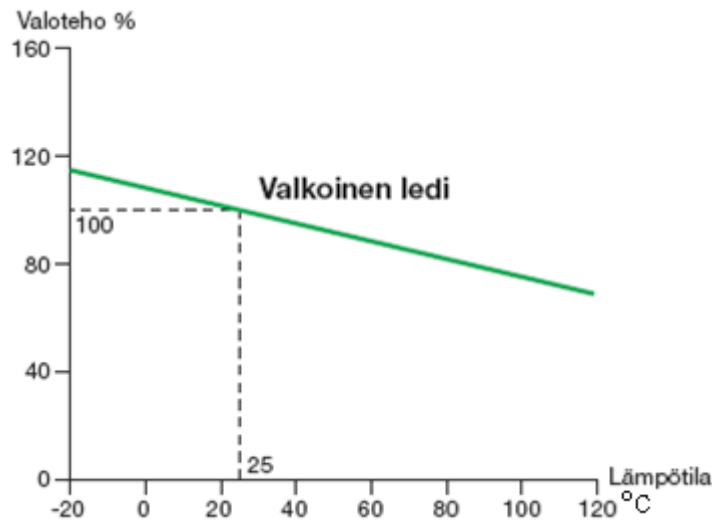


KUVA 29: Kylmän valkoisen [6500K] LED-valon säteilyspektri (39)

LEDin etuna on, että se syttyy heti täyteen valaistustehoon. Ledeissä ei ole liikkuvia tai erityisen herkkiä osia, joten oikein suunniteltu LED-valaisin kestää tärinää ja muita rasituksia hyvin. (35)

Oikeanlaisen muuntajana tai liitäntälaitteen valinta on erittäin tärkeää. Virtapiikit ja väärä tai huonolaatuinen sähkö voi tuhota valaisimen. Siksi on erittäin tärkeää, että virtalähde on hyväksytty LED-käyttöön. (35)

LED ei tuota lämpösäteilyä, mutta lämpö voi silti olla ongelma (kuva 30). Jatkuva lämpö on ledeille haitallista, joten usein tapahtuva sytytys ja sammutus lisäävät sen käyttöikää. Perinteiset valonlähteet jäähtyvät ympäröivän ilman vaikutuksesta. LEDit jäähdytetään johtamalla lämpö jäähdytyslementtiin. Viileä ympäristö lisää ledin valovirtaa, joten ne sopivat hyvin ulkovalaistukseen Suomen olosuhteissa. (35)



KUVA 30: Lämpötilan vaikutus LEDin valovirtaan (22)

LED-valoja on saatavilla eri kannoilla myös vanhoihin valaisimiin esimerkiksi myös T8-loisteputken mallisina (kuva 31). Niissä putken alapintaan on asennettu ledejä ja putken pystyy asentamaan useimmiten vanhojen T8-putkien tilalle. Valaisimesta on vain poistettava kompensointikondensaattori, sillä LED-putki itsessään on kapasitiivinen kuorma. (40)



KUVA 31: LED-putki (40)

4 VALAISTUSSTANDARDIT

Meillä Suomessa on sisätyöpaikkojen valaistussuunnittelussa käytössä standardi SFS-EN 12464-1:2011 ”Sisävalaistusstandardi”, jonka on luonut CEN (Euroopan standardikomitea) ja se on käytössä koko Euroopassa. Tämä asettaa sisätyötilojen valaistusvaatimukset normaalinäkökykyisten henkilöiden näkömukavuuden ja näkötehokkuuden tarpeita ajatellen. Standardi määrittelee valaistusratkaisujen määrälliset ja laadulliset vaatimukset useimmille sisätyöpaikoille ja niihin liittyville alueille. Näiden lisäksi se antaa suosituksia hyvistä valaistuskäytännöistä. (1)

4.1.1 Valaistusvoimakkuus sisävalaistusstandardissa

Sisävalaistusstandardissa suositellut valaistusvoimakkuuksien tasot lukseina on porrastettu seuraavasti: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000. Valaistusvoimakkuuden seuraava taso on noin 1,5 -kertainen edelliseen tasoon verrattuna, jotta valaistuserot olisivat selkeästi havaittavissa.

Valaistusvoimakkuusarvoa voidaan muuttaa valaistusvoimakkuusasteikolla, jos näköolosuhteet poikkeavat tavanomaisista. (1)

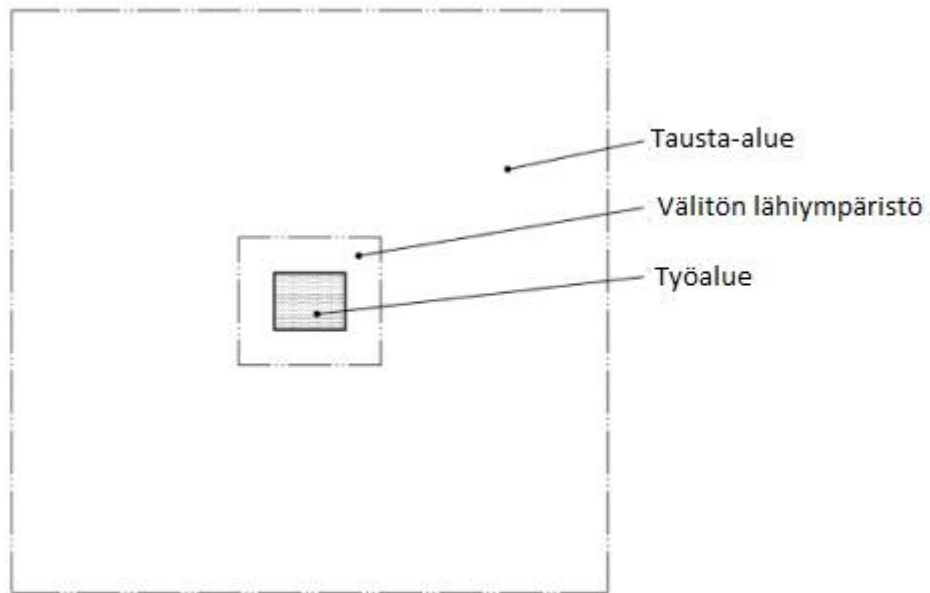
Valaistusvoimakkuuden arvoja tulisi kasvattaa, kun:

- Näkötehtävä on kriittinen
- Virheet aiheuttavat suuria kustannuksia
- Tarkkuus, korkeampi tuottavuus tai parempi keskittyminen ovat hyvin tärkeitä
- Näkökohteen yksityiskohdat ovat poikkeuksellisen pieniä tai kontrastit huonoja
- Työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen pitkäkestoisesti
- Työntekijän näkökyky on keskimääräistä alhaisempi

Valaistusvoimakkuuden arvoa voidaan pienentää, kun:

- Näkökohde on poikkeuksellisen suuri tai sen kontrastit ovat suuret
- Työtehtävää suoritetaan poikkeuksellisen lyhytkestoisesti

Suuret valaistusvoimakkuuden erot työalueen ympäristössä voivat aiheuttaa silmien väsymistä ja epämukavuuden tunnetta. Työalueen (Kuva 32) välittömässä lähiympäristössä eli noin metrin päässä valaistustaso saa laskea portaalla työpisteen valaistusvaatimuksesta (Taulukko 1). (1)



KUVA 32: Työpisteen valaistusalueiden luokittelu (1)

Sisätyöpaikoilla aktiivista työaluetta ympäröivä alue on syytä valaista. Tämän tausta-alueen tulisi olla vähintään kolme metriä leveä kaistale, joka ympäröi välitöntä työskentelyaluetta. Tausta-alueen valaistusvoimakkuuden on oltava 1/3 välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuudesta. (1)

TAULUKKO 1: Työalueen ja työympäristön valaistusvoimakkuuksien suhde (1)

Valaistusvoimakkuus työalueella E_{task} (lx)	Valaistusvoimakkuus välittömässä lähiympäristössä (lx)	Valaistusvoimakkuus tausta-alueella suhteessa välittömään lähiympäristöön
≥ 750	500	1/3
500	300	1/3
300	200	1/3
200	150	1/3
150	E_{task}	1/3
100	E_{task}	1/3
≤ 50	E_{task}	1/3

4.1.2 Luminanssijakauma sisävalaistusstandardissa

Luminanssi kuvaa pinnalta lähtevän valon voimakkuutta eli ”pinnan kirkkautta”. Näkökentässä olevat eri luminanssitasot voidaan ilmaista luminanssijakaumana. Luminanssijakauma on yksi tärkeimmistä tekijöistä suhteessa keino- ja päivänvaloon. Näkökentässä oleva luminanssijakauma määrää silmien sopeutumistason, joka taas vaikuttaa miten silmät sopeutuvat valaistuun kohteeseen. (1)

Kohteessa tulee olla tasapainoinen luminanssijakauma, jotta voidaan parantaa:

- näöntarkkuutta
- kontrastiherkkyyttä (miten havaitaan pienet luminanssierot)
- näköaistin toimintojen tehokkuutta (pupillien kokomuutos, silmien liikkeet jne.)

Näkökentän luminanssijakauma vaikuttaa myös näkömukavuuteen, joten seuraavia syitä tulee välttää:

- liian suuret luminanssit saattavat aiheuttaa häikäisyä
- liian suuret luminanssikontrastit aiheuttavat näköväsymystä, koska silmät joutuvat sopeutumaan jatkuvaan muuttumistarpeeseen
- liian pienet luminanssit ja liian alhaiset luminanssikontrastit tekevät työympäristöstä tylsän ja yksitoikkoisen

Hyvin tasapainoisen luminanssijakauman aikaansaamiseksi on tarkasteltava kaikkien pintojen luminansseja ja määritettävä ne pintojen heijastusominaisuuksien ja valaistuksen avulla. Rakennuksissa olevien henkilöiden sopeutumisen ja mukavuustason parantamiseksi ja hämärän välttämiseksi on erittäin tärkeää, että sisäpinnat, erityisesti seinät ja katto ovat valoisia. Valaistusta suunniteltaessa tulee harkita ja valita sisäpinnoille soveltuva valaistusvoimakkuus. (1)

Kaikissa suljetuissa tiloissa tärkeimpien pintojen ylläpidetyn valaistusvoimakkuuden tulee olla:

- seinillä yli 50 lx
- katossa yli 30 lx

4.1.3 Häikäisy sisävalaistusstandardissa

Häikäisy on tunne, jonka aiheuttavat näkökentässä olevat kirkkaat kohteet, kuten valaistut pinnat, valaisinten osat, ikkunat ja/tai kattoikkunat. Häikäisyä tulisi rajoittaa virheidä, väsymyksen ja tapaturmien välttämiseksi. Häikäisy voidaan kokea joko kiusahäikäisynä tai estohäikäisynä. Sisätyöpaikoilla estohäikäisy ei tavallisesti ole suuri ongelma, jos kiusahäikäisy alittaa standardin vaatimukset. Häikäisyn lisäksi on peilimäisten pintojen heijastuksia, joita kutsutaan tavallisesti harsoheijastumiksi ja heijastushäikäisyksi. (1)

Kirkkaat valonlähteet saattavat aiheuttaa häikäisyä ja siten heikentää kohteiden näkyvyyttä. Häikäisyä tulisi rajoittaa häikäisysuojilla tai varjostimilla. Kirkkaat heijastumat taas voivat taas muuttaa kohteen näkyvyyttä, yleensä haitallisesti. (1)

Näitä harsoheijastumia ja heijastushäikäisyä voidaan estää tai minimoida seuraavilla keinoilla:

- valaisimien, ikkunoiden ja työpisteiden sijoittelulla
- heijastavien pintojen pintakäsittelyllä (mattapinnat)
- valaisimien ja ikkunoiden luminanssin rajoittamisella
- vaalealla katolla ja vaaleilla seinillä

Valolähteiden luminanssien mukaan on määritetty pienimmät häikäisysuojakulmat valaisimille:

TAULUKKO 2: Häikäisysuojakulman minimiarvot eri lamppujen luminansseilla (1)

Valaisimen luminanssi $kcd\ m^{-2}$	Minimihäikäisysuojakulma α
20... < 50	15°
50... < 500	20°
≥ 500	30°

4.1.4 Värintoisto ja värilämpötila sisävalaistusstandardissa

Näkötehokkuuden, mukavuuden ja hyvinvoinnin vuoksi näkökohteen värien tulisi toistua luonnollisena. Korkean värintoistoindeksin lamput toistavat värit paremmin. Standardissa on ilmoitettu vaadittavat värintoistoarvot. (1)

Värilämpötilaa ei aina määritellä sisävalaistusstandardissa, mutta jossain tarkkuutta vaativissa tehtävissä sekin on määritelty. Esimerkiksi taulukossa 3, joka kuvaa sisävalaistusstandardin valaistusvaatimuksia keramiikan, kaakeleiden, lasin ja lasitavaran osalta, se on määritelty tarkkuustyön osalta. Värilämpötila pitäisi olla yli 4000 kelviniä, mutta alle 6500 kelviniä. (1)

TAULUKKO 3: SFS-EN 12464-1:2011 – Keramiikka, kaakelit, lasi ja lasitavaran sisävalaistusstandardi (1)

Viitenumero	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR _L	U_o	R_a	Erityisvaatimukset
5.9.1	Kuivaus	50	28	0,4	20	Turvavärien tulee olla tunnistettavissa
5.9.2	Valmistelu, yleinen konetyö	300	25	0,6	80	
5.9.3	Emalointi, valssaus, puristus, yksinkertaisten osien muotoilu, lasitus, lasinpuhallus	300	25	0,6	80	
5.9.4	Hiominen, kaiverrus, lasin kiillotus, pienten osien muotoilu, lasiesineiden valmistus	750	19	0,7	80	
5.9.5	Optisen lasin hionta, kristalli, käsin hionta ja kaiverrus	750	16	0,7	80	
5.9.6	Tarkkuustyö kuten koristehionta, käsin maalaus	1000	16	0,7	90	$4000\text{ K} \leq T_{CP} \leq 6500\text{ K}$
5.9.7	Synteettisten jalokivien valmistus	1500	16	0,7	90	$4000\text{ K} \leq T_{CP} \leq 6500\text{ K}$

5 TUULILASIN LOPPUTARKASTUKSEN KEHITTÄMINEN

"SALAINEN / CONFIDENTIAL"

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää tuulilasin lopputarkastuksessa käytettävän valotaulun hyötysuhdetta virheiden löytymisessä. Kehitystyön lopputuloksena onnistuimme parantamaan valotaulun hyötysuhdetta 8 %:lla. 8 % parannus tuntuu marginaaliselta, mutta kontrollin perusteella virheitä löytyi enemmän lasista, joiden virheet johtavat niiden myynnin estämiseen.

Tällä hetkellä uudistettu valotaulu sijaitsee laboratoriossa, jossa on hyvä yleisvalaistus. Koska valotaulun uusien loisteputkien värilämpötila on hyvin valkoinen, aiheuttaa tämä suuria luminanssieroja valotaulun ja sen ympäristön välillä. Laboratoriossa uudistettu valotaulu toimii odotetun mukaisesti, mutta aiheuttaa joillekin käyttäjille hieman häikäisyä. Jos tehdastilassa sijaitsevaan valotauluun tehtäisiin nyt samat muutokset, mitä laboratorion valotauluun, valotaulu voisi aiheuttaa merkittävää häikäisyä valotaulun ympäristön heikon yleisvalaistuksen takia. Tämän takia uudistettaessa tehdastilojen valotauluja tulee ottaa huomioon myös valotaulujen ympäristön valaistusvoimakkuudet.

Opinnäytetyön tekeminen sujui hyvin, vaikka projektin alussa olikin hieman vaikeuksia löytää työlle päämäärää. Ongelmia tuotti myös pitkä välimatka Tampereen ja Laitilan välillä ja kulkuneuvon puute. Mahdollisuudet käydä paikan päällä tutkimassa kohdetta olivat siten rajatut. Lopputuloksena työ onnistui tavoitteessaan.

7 LÄHTEET

1. SFS-EN 12464-1. *Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus*. Helsinki : SFS, 2011.
2. Työterveyslaitos. [Verkossa] 30. huhtikuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/>.
3. Kallasjoki, Tapio. *Valaistus ja työssä näkeminen*. Helsinki : Suomen Työnäköseura ry, 2003.
4. Manninen, Seppo. Mitä ainetta valo on? *Helsingin Sanomat*. 15. kesäkuuta 2013, Viikonloppunumero.
5. Harsia, Pirkko ja Kallioharju, Kari. *Valo, valosuureet ja peruslait sekä muita oleellisia käsitteitä*. Tampere : TAMK, 2013.
6. Tawil, Joel. International Cinematographers Guild. [Verkossa] 21. kesäkuuta 2004. [Viitattu: 2014. toukokuuta 2014.] <https://www.cameraguild.com/member-resources/techtips/colorimetry.aspx>.
7. Osram Oy. [Verkossa] Osram Oy, 12. toukokuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://www.osram.fi/osram_fi/tuotteet/lamput/loistelamput/kaksikantaloistelamput-t8/lumilux-t8/index.jsp.
8. Ensto Oy. Ensto Pro, Valaistustekniikka. [Verkossa] 12. toukokuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247.html>.
9. Rihlama, Seppo. *Värioppi*. Kuudes painos. Tampere : Rakennustieto Oy, 1997.
10. Ilmatieteenlaitos. Valonsäde ilmakehässä. [Verkossa] 28. helmikuuta 2003. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/index.html>.

11. Männistö, Arto. *Valon värin ja värilämpötilan säätö ja niiden vaikutus ihmiseen. AMK-opinnäytetyö*. Tampere : TAMK, 2011.
12. Harsia, Pirkko ja Kallioharju, Kari. *Näkeminen, värioppi ja värintoisto*. Tampere : TAMK, 2012.
13. Paakkari, Ilari. D-vitamiini. [Verkossa] 29. huhtikuuta 2013. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] www.terveyskirjasto.fi.
14. Brainard, George C. *Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans*. Orlando : Fifth International LRO lighting research symposium, 2002.
15. Volantis Oy. Värin havaitseminen. [Verkossa] 12. joulukuuta 2008. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.volantis.fi/sivut/color-theory.html>.
16. Korhonen, Päivi. Otavan opisto. *Näköaisti*. [Verkossa] [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/bi/bi4/3_ihmisen_fysiologia_ja_anatomia/25_nakoaisti.
17. *Värien näkeminen*. Tikkurila Oy. marraskuu 2004, Tikkurilan viesti -lehti, nro 2.
18. Videohive. [Verkossa] [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://videohive.net/item/flashing-tv-screen-pixels-macro/1786740>.
19. Beauchamp, Brock. Webcomicking: RGB vs CMYK. [Verkossa] 2. maaliskuuta 2011. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://selfcentent.com/blog/webcomicking-rgb-vs-cmyk/>.
20. Halonen, Liisa ja Lehtovaara, Jorma. *Valaistustekniikka*. Espoo : Gummerus kirjapaino Oy, 1992. ss. 108-110. 951-672-145-1.
21. Illuminating Engineering Society. *Light and Health - Seminar materials*. 978-0-87995-247-1.

22. Honkanen, Harri. *Valaistustekniikka*. Kajaani : Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2011.
23. Halonen, Liisa ja Lehtovaara, Jorma. *Valaistustekniikka*. Espoo : Gummerus kirjapaino Oy, 1992. ss. 205-206. 951-672-145-1.
24. Paul Lights. T5 vs T8 fluorescent tubes. [Verkossa] 11. elokuuta 2013. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.paullights.com/t5-vs-t8-fluorescent-tubes/>.
25. Philips Oy. MASTER TL-D 90 Graphica. [Verkossa] 10. huhtikuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://download.p4c.philips.com/14b/9/928045296581_eu/928045296581_eu_pss_finfi.pdf.
26. Wikipedia. *Helvar*. [Verkossa] 1. joulukuuta 2013. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://uk.wikipedia.org/wiki/Helvar>.
27. Halonen, Liisa ja Lehtovaara, Jorma. *Valaistustekniikka*. Espoo : Gummerus kirjapaino Oy, 1992. ss. 290-294.
28. Philips Oy. P10 18-65W SIN 220-240V BL. [Verkossa] 11. huhtikuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/starters-for-fluorescent-lamps/solution-starters/928393700095_eu/.
29. Philips Oy. S10E 18-75W SIN 220-240V BL. [Verkossa] 10. huhtikuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/starters-for-fluorescent-lamps/safety-comfort-starters/926000192703_eu/.
30. Halonen, Liisa ja Lehtovaara, Jorma. *Valaistustekniikka*. Espoo : Gummerus kirjapaino Oy, 1992. ss. 299-311. 951-672-145-1.
31. AD-Lux Oy. Vältä välkkyvää valoa! [Verkossa] 27. syyskuuta 2006. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.adlux.fi/public/tyo/tyovalkynnanpoisto.html>.

32. Helvar Oy. Electronic ballasts for T8 fluorescent lamps. [Verkossa] 25. kesäkuuta 2013. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.]
http://www.helvar.fi/sites/default/files/product_datasheets/EL-es_T071221C.pdf.
33. Halonen, Liisa ja Lehtovaara, Jorma. *Valaistustekniikka*. Espoo : Gummerus kirjapaino Oy, 1992. ss. 257-258. 951-672-145-1.
34. Osram Oy. POWERSTAR HQI-TS. [Verkossa] 12. toukokuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.]
http://www.osram.fi/osram_fi/tuotteet/lamput/kaasupurkauslamput/kvartsiset-monimetallilamput/powerstar-hqi-ts295293/.
35. Fagerhult Oy. Mikä led on? [Verkossa] 2013. [Viitattu: 7. huhtikuuta 2014.]
<http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/>.
36. ST 57.52. *LED-valaistusjärjestelmät*. Helsinki : Sähkötieto ry, 2008.
37. Mattila, Heikki. *Ledivalaisimet rautatiealueiden valaistuksessa. Diplomityö*. Lappeenranta : Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2010.
38. Philips Oy. Luxeon Rebel. [Verkossa] 15. helmikuuta 2014. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.philipslumileds.com/uploads/265/DS68-pdf>.
39. Philips Oy. Luxeon Rebel. [Verkossa] 12. joulukuuta 2012. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] <http://www.philipslumileds.com/uploads/20/DS63-pdf>.
40. Valtavalo Oy. Valtavalo G3 LED-valoputki. [Verkossa] 15. elokuuta 2013. [Viitattu: 12. toukokuuta 2014.] http://www.valtavalo.com/dl/Spec/Valtavalo_G3_LED-valoputki_Esite.pdf.